

PCT

WELTOORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM
Internationales Büro

INTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICH NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE
INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)



(51) Internationale Patentklassifikation ⁶ : G01B 11/00		A1	(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: WO 99/53269 (43) Internationales Veröffentlichungsdatum: 21. Oktober 1999 (21.10.99)
<p>(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP99/02570</p> <p>(22) Internationales Anmeldedatum: 10. April 1999 (10.04.99)</p> <p>(30) Prioritätsdaten: 198 16 272.3 11. April 1998 (11.04.98) DE</p> <p>(71) Anmelder (<i>für alle Bestimmungsstaaten ausser US</i>): WERTH MESSTECHNIK GMBH [DE/DE]; Siemensstrasse 19, D-35394 Giessen (DE).</p> <p>(72) Erfinder; und</p> <p>(75) Erfinder/Anmelder (<i>nur für US</i>): CHRISTOPH, Ralf [DE/DE]; Taunusblick 2, D-35641 Schöffengrund (DE).</p> <p>(74) Anwalt: STOFFREGEN, Hans-Herbert; Friedrich-Ebert-Anlage 11b, D-63450 Hanau (DE).</p>		<p>(81) Bestimmungsstaaten: AE, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, CA, CH, CN, CU, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MD, MG, MK, MN, MW, MX, NO, NZ, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TR, TT, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZW, ARIPO Patent (GH, GM, KE, LS, MW, SD, SL, SZ, UG, ZW), eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE), OAPI Patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).</p> <p>Veröffentlicht <i>Mit internationalem Recherchenbericht.</i> <i>Mit geänderten Ansprüchen.</i></p>	
<p>(54) Title: METHOD AND ARRANGEMENT FOR MEASURING THE STRUCTURES OF AN OBJECT</p> <p>(54) Bezeichnung: VERFAHREN UND ANORDNUNG ZUR MESSUNG VON STRUKTUREN EINES OBJEKTS</p> <p>(57) Abstract</p> <p>The invention relates to a method and an arrangement for measuring the structure of an object. The structure is scanned by touch, by means of a scanning element whose position is optically detected. The force produced after the contact between the scanning element and the object is determined and optionally adjusted to constant values.</p> <p>(57) Zusammenfassung</p> <p>Gegenstand der Erfindung ist ein Verfahren und eine Anordnung zur Messung der Struktur eines Objekts. Die Struktur wird durch Berührung mit einem Tastelement abgetastet, dessen Position optisch bestimmt wird. Die nach der Berührung zwischen dem Tastelement und dem Objekt auftretende Kraft wird bestimmt und gegebenenfalls auf gleichbleibende Werte eingestellt.</p>			

LEDIGLICH ZUR INFORMATION

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AL	Albanien	ES	Spanien	LS	Lesotho	SI	Slowenien
AM	Arlenien	FI	Finnland	LT	Litauen	SK	Slowakei
AT	Österreich	FR	Frankreich	LU	Luxemburg	SN	Senegal
AU	Australien	GA	Gabun	LV	Lettland	SZ	Swasiland
AZ	Aserbaidschan	GB	Vereinigtes Königreich	MC	Monaco	TD	Tschad
BA	Bosnien-Herzegowina	GE	Georgien	MD	Republik Moldau	TG	Togo
BB	Barbados	GH	Ghana	MG	Madagaskar	TJ	Tadschikistan
BE	Belgien	GN	Guinea	MK	Die ehemalige jugoslawische Republik Mazedonien	TM	Turkmenistan
BF	Burkina Faso	GR	Griechenland	ML	Mali	TR	Türkei
BG	Bulgarien	HU	Ungarn	MN	Mongolei	TT	Trinidad und Tobago
BJ	Benin	IE	Irland	MR	Mauritanien	UA	Ukraine
BR	Brasilien	IL	Israel	MW	Malawi	UG	Uganda
BY	Belarus	IS	Island	MX	Mexiko	US	Vereinigte Staaten von Amerika
CA	Kanada	IT	Italien	NE	Niger	UZ	Usbekistan
CF	Zentralafrikanische Republik	JP	Japan	NL	Niederlande	VN	Vietnam
CG	Kongo	KE	Kenia	NO	Norwegen	YU	Jugoslawien
CH	Schweiz	KG	Kirgisistan	NZ	Neuseeland	ZW	Zimbabwe
CI	Côte d'Ivoire	KP	Demokratische Volksrepublik Korea	PL	Polen		
CM	Kamerun	KR	Republik Korea	PT	Portugal		
CN	China	KZ	Kasachstan	RO	Rumänien		
CU	Kuba	LC	St. Lucia	RU	Russische Föderation		
CZ	Tschechische Republik	LI	Liechtenstein	SD	Sudan		
DE	Deutschland	LK	Sri Lanka	SE	Schweden		
DK	Dänemark	LR	Liberia	SG	Singapur		
EE	Estland						

Beschreibung

Verfahren und Anordnung zur Messung von Strukturen eines Objekts

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren und eine Anordnung zur Messung von Strukturen eines Objekts mittels eines einem Koordinatenmessgerät zugeordneten von einem biegeelastischen Schaft ausgehenden Tastelement, wobei das Tastelement mit dem Objekt in Berührung gebracht und sodann seine Position unmittelbar oder mittelbar über wenigstens eine dem Tastelement zugeordnete Zielmarke mit einem optischen Sensor bestimmt wird.

Eine Anordnung der vorstehend beschriebenen Art ist bereits bekannt (DE 297 10 242 U1) Bei dieser bekannten Anordnung wird die Oberflächentopographie eines Gegenstands bzw. Objekts mit einem Photogrammetriesystem und dem Tastelement gemessen. Das Tastelement, z. B. eine Kugel, ist am Ende eines elastischen Schafts angeordnet. Am Schaft können Zielmarken angebracht sein, deren Positionen ein relativ zu einem Tasterbezugssystem vom Photogrammetriesystem erfasst werden. Die Position des Tastelements wird z. B. aus den Zielmarkenpositionen bestimmt.

Bekannt ist auch ein Messsystem zur Erfassung der Oberflächentopographie von Gegenständen mit einem Messwertsender, der aus einem Taststift und einer Lichtquelle definierter Form an seinem Ende besteht. Die Lichtquelle wird längs der aufzunehmenden Kontur geführt. Bei diesem Verfahren erfasst ein optischer Empfänger die jeweilige Lage der einen Lichtfleck oder Lichtpunkt bildenden Lichtquelle in einem dreidimensionalen Raum.

nalen kartesischen Koordinatensystem. Ein Rechner wertet die Messergebnisse aus. Die Lichtquelle hat als Verlängerung des Taststifts z. B. die Form einer konzentrisch eingefassten Glasfaser (DE 40 02 043 C2).

Es ist weiterhin ein Tastsystem für die Messung kleiner Strukturen bekannt, welches auf einem Schwingquarz basiert, der eine Glasfaser mit Antastelement anregt. Bei Berührung mit der Werkstückoberfläche wird die Dämpfung des Systems ausgewertet. Diese Technik ermöglicht zwar kleine Antastkräfte, ist jedoch mit einer relativ großen Ungenauigkeit (Messfehler 5 µm) behaftet.

Schließlich ist es bekannt, mittels eines Mikroskops die Position eines Tastelements zur Messung von Strukturen zu bestimmen, wobei gerätebedingt im Durchlichtverfahren gearbeitet werden muss, so dass allein Strukturen durchgehender Bohrungen oder sonstiger Durchbrechungen gemessen werden können.

Der vorliegenden Erfindung liegt das Problem zugrunde, ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Messung der Oberflächentopographie von Objekten zu entwickeln, mit denen beliebige Strukturen und Objekte mit unterschiedlichen Oberflächenhärten mit einer hohen Messgenauigkeit bestimmt werden können.

Das Problem wird bei einem Verfahren zur Messung von Strukturen eines Objekts mittels einem Koordinatenmessgerät zugeordneten von einem biegeelastischen Schaft ausgehenden Tastelement, das mit dem Objekt in Berührung gebracht und dessen Position sodann unmittelbar oder mittelbar über wenigstens eine dem Tastelement zugeordnete Zielmarke mit einem Sensor bestimmt wird, erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass der Schaft mit Ausnahme einer freien, das Tastelement und/oder die Zielmarke umfassenden Biegelänge innerhalb einer starren oder im wesentlichen starren Führung verläuft und dass die nach der Berührung zwischen Tastelement und Objekt auftretende Antastkraft aus Auslenkung des Tastelementes und/oder der Zielmarke aus einer Ruhelage bestimmt wird. Dabei wird insbesondere die Antastkraft auf einen an

Gegebenheiten des Objektes angepaßten Wert durch Vorgabe der Biegelänge eingestellt. Dies kann durch Verschieben des Schaftes innerhalb der Führung erfolgen. Die so gewonnenen Werte der Antastkraft können bei sodann erfolgenden Messungen der Strukturen des Objektes berücksichtigt werden.

Die Antastkraft hat bei manchen Objekten einen wesentlichen Einfluss auf die Messergebnisse. Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren ist es möglich, die Antastkraft als Parameter der Messung den Gegebenheiten des Objekts wie der Oberflächentopographie und der Oberflächenhärte anzupassen.

Bei einer bevorzugten Ausführungsform wird die Antastkraft des Tastelements nach folgender Gleichung bestimmt:

$$F = \frac{3 \cdot E \cdot f \cdot I}{l^3}$$

worin mit F die Antastkraft, mit E der Elastizitätsmodul des Schafts, mit l die wirksame Biegelänge des Schafts zwischen einer starren Führung und dem Tastelement, mit I das axiale Flächenmoment des Schafts und mit f die Auslenkung des Rastelements aus einer Ruhelage bezeichnet sind. Das Elastizitätsmodul, das axiale Flächen- bzw. Trägheitsmoment und die Länge sind durch die konstruktiven bzw. Materialeigenschaften der Vorrichtung vorgegeben und können zu einer Konstanten zusammengefasst werden. Damit ist die Antastkraft proportional der Auslenkung und kann schnell und ohne aufwendige Rechenoperationen und -zeiten bestimmt werden.

Gegebenenfalls kann der Schaft innerhalb der Führung verschoben werden, um die wirksame Biegelänge zu verändern. Losgelöst hiervon ist durch die starre Aufnahme des Schafts stets reproduzierbar sichergestellt, dass der Schaft eine definierte Biegelänge aufweist.

Bei einer zweckmäßigen Ausführungsform wird die Antastkraft als Regelgröße in einem Regelkreis auf einem vorgebbaren, gleichbleibenden oder nahezu gleichbleibenden Wert eingestellt, wobei die Halterung von wenigstens einem motorischen Antrieb als Stellglied bewegbar ist. Die Antastkraft kann bei dieser Ausführungsform während der gesamten Messung einer Struktur auf einem vorgegebenen Wert gehalten werden. Für die Messung der Oberflächentopographie in drei Dimensionen ist es vielfach günstig, wenn die Halterung mit dem von ihr ausgehenden elastischen Schaft durch Antriebe in fünf Freiheitsgraden bewegt werden kann. Hierfür eignen sich numerische Regelkreise. Die Halterung ist insbesondere mit dem Einstellmechanismus für das optische System zu einer Einheit verbunden, die motorisch in fünf Freiheitsgraden verstellbar ist.

Es ist weiterhin vorteilhaft, wenn die Auslenkung des Tastelements mittels eines optischen Sensors gemessen wird, der den Unterschied zwischen der Stellung des Tastelements in dessen Ruhelage und der Stellung des Tastelements bei Berührung mit der Oberfläche des Objekts erfasst. Der Sensor, der der gleiche wie für die Messung der Struktur ist, wird dabei zweckmäßigerweise gemeinsam mit der Halterung bewegt.

Die Position des Tastelementes und/oder der zumindest einen Zielmarke wird insbesondere mittels reflektierender und/oder durch dieses bzw. diese abschattender und/oder von dem Tastelement bzw. der Zielmarke abstrahlender Strahlung optisch bestimmt. Zweckmäßigerweise ist die Tasterverlängerung bzw. der Schaft als Lichtleiter ausgebildet oder umfasst einen solchen, um über diesen dem Tastelement bzw. der Zielmarke das erforderliche Licht zuzuführen.

Auch besteht die Möglichkeit, dass das Tastelement und/oder die Zielmarke als selbstleuchtendes elektronisches Element wie LED ausgebildet ist oder ein solches umfasst.

Insbesondere zeichnet sich die Erfindung aus durch eine Anordnung zur Messung von Strukturen eines Objekts mittels eines einem Koordinatenmesgerät zugeordneten von einem biegeelastischen Schaft ausgehenden Tastelement, das mit dem Objekt in Berüh-

rung bringbar ist und dessen Position sodann unmittelbar oder mittelbar über wenigstens eine dem Tastelement zugeordnete Zielmarke mit einem Sensor bestimmbar ist, wobei sich die Anordnung dadurch auszeichnet, dass der Schaft mit Ausnahme einer freien das Tastelement und/oder die Zielmarke umfassenden Biegelänge in einer starren oder im wesentlichen starren Führung verläuft. Hierdurch wird durch die wirksame Biegelänge definiert die Antastkraft vorgegeben, wodurch die Anordnung an die Gegebenheiten von Oberflächeneigenschaften des zu messenden Objektes anpassbar ist.

Insbesondere zeichnet sich die Anordnung dadurch aus, dass ein Sensor zur Messung der Auslenkung des Tastelementes und/oder der Zielmarke aus einer Ruhelage vorgesehen ist, dass der Schaft mit Ausnahme einer freien das Tastelement und/oder die Zielmarke umfassenden Biegelänge in einer starren oder im wesentlichen starren Führung verläuft, dass die Führung mit dem Schaft mit wenigstens einem motorischen Antrieb relativ zur Oberfläche des Objekts bewegbar ist und dass mit einer Auswerteinrichtung aus der Auslenkung des Tastelementes und/oder der Zielmarke aus der Ruhelage die Antastkraft bestimmbar ist. Mit dieser Vorrichtung lässt sich die Antastkraft des Tastelementes an die Gegebenheiten der Oberflächeneigenschaften des Objekts anpassen. Beispielsweise kann die Antastkraft so auf die Härteeigenschaften der Oberfläche abgestimmt werden, dass eine möglichst hohe Messgenauigkeit erzielt wird. Dabei besteht die Möglichkeit, dass der Schaft innerhalb der Führung verschiebbar angeordnet ist.

Insbesondere bestimmt die Anordnung die Antastkraft aus dem Messwert der Auslenkung des Tastelements nach folgender Gleichung:

$$F = \frac{3 \cdot E \cdot f \cdot I}{l^3}$$

worin mit F die Antastkraft, mit f die Auslenkung, mit l die Länge des Schafts in seiner wirksamen Biegelänge, mit E der Elastizitätsmodul des Schafts und mit I das axiale

Flächenmoment des Schafts bezeichnet sind. Da in dieser Gleichung außer der Auslenkung f und der Antastkraft alle Größen konstant sind, kann die Auslenkung unter Berücksichtigung der Konstanten in der Einheit der Antastkraft geeicht werden.

Bei einer zweckmäßigen Ausführungsform ist ein optisches System zur Erfassung der Auslenkung des Tastelementes oder der Zielmarke aus einer Ruhelage vorgesehen und zumindest mit dem Tastelement und dem Schaft als Einheit bewegbar. Mit dem System, mit dem insbesondere auch die Oberflächentopographie bestimmt wird, kann die Ruhelage des Tastelements bzw. der wenigstens einen Zielmarke oder mehrere Zielmarken bestimmt werden, wenn keine Berührung mit einem Objekt oder Gegenstand stattfindet. Die entsprechende geometrische Position des Tastelements oder der wenigstens einen Zielmarke kann gespeichert werden und bei Lageänderung des Systems entsprechend angepasst werden. Bei Berührung des Tastelements mit einer Objektoberfläche wird der Unterschied zwischen Ruhelage und Position bei Berührung erfasst, z. B. aus der Tastelementlage und der zugeordneten Ruhelage. Das optische System zur Erfassung der Auslenkung des Tastelements oder der Zielmarke ist insbesondere als Istwertgeber in einem Regelkreis angeordnet, dessen Regelgröße die Antastkraft ist und der als Stellglied mindestens einen motorischen Antrieb für die Bewegung der das Tastelement, den Schaft und den Sensor enthaltenden Einheit aufweist. Das Tastelement kann am Schaft durch Kleben, Schweißen oder sonstige geeignete Verbindsarten angebracht sein. Auch kann das Tastelement und/oder die Zielmarke ein Abschnitt der Tastverlängerung selbst sein.

Der Schaft selbst kann endseitig als Taster ausgebildet sein oder einen solchen umfassen. Insbesondere kann das Tastelement und/oder die Zielmarke auswechselbar mit der Tastverlängerung wie Schaft verbunden sein.

Um nahezu beliebige Strukturen bestimmen zu können, ist des Weiteren vorgesehen, dass das Tastelement mit dem Schaft und dem optischen System von einer in fünf Freiheitsgraden justierbaren Halterung verstellbar ist. Die Halterung selbst kann wieder-

um mit dem Sensor eine Einheit bilden bzw. mit dem Sensor verbunden sein. Vorzugsweise sind das Testelement und der Schaft ein Lichtleiter, wobei dem Testelement über den Lichtleiter Licht zuführbar ist. Hierbei leuchtet das Testelement, das als Lichtfleck oder Lichtpunkt von dem optischen System erfasst wird. Das Testelement und/oder die wenigstens eine Zielmarke können auch lichtreflektierend ausgebildet sein. Es besteht aber auch die Möglichkeit, das Testelement und/oder die Zielmarke als selbstleuchtendes Element wie LED auszubilden.

Das optische System, das zur Bestimmung der Auslenkung des Testelements aus seiner Ruhelage und zur Strukturmessung verwendet wird, ist insbesondere eine elektronische Kamera. Die Messung der Auslenkung geschieht insbesondere auch mit einem Fokussystem, wie dies in der optischen Koordinatenmesstechnik bei der Fokussierung auf die Werkstückoberfläche bereits bekannt ist. Hierbei wird die Kontrastfunktion des Bildes in der elektronischen Kamera ausgewertet.

Zur Strukturbestimmung der Objekte wird die direkte Messung der Testelementposition genutzt. Grundsätzlich kommen für diese direkte Messung viele unterschiedliche physikalische Prinzipien in Frage. Da die Messung der Testelementauslenkung in einem großen Messbereich im Raum sehr genau erfolgen muss, z. B. um kontinuierliche Scavorgänge zu ermöglichen, und um einen großen Überhub bei Objektantastung aufzunehmen (z. B. aus Sicherheitsgründen, aber auch um den Aufwand für eine genaue Positionierung zu verringern), kann auch ein photogrammetrisches Verfahren eingesetzt werden. Zwei Kamerasyteme mit zueinander geneigten Achsen könnten benutzt werden. Es können im Wesentlichen die aus der Industriephotogrammetrie bekannten Auswertetechniken eingesetzt werden.

Mit zwei z. B. zur Längsrichtung des Testelements bzw. der diesem zugewandten Enden einer Tasterverlängerung wie Schaft geneigt "blickenden" Kameras sind alle Messaufgaben lösbar, bei denen das Testelement nicht hinter Hinterschneidungen "verschwindet". Die Verwendung einer redundanten Anzahl von Kameras (z. B. drei) ermöglicht

auch an Objekten mit steilen Konturen zu messen. Bei der Messung in kleinen Bohrungen kann eine Kamera benutzt werden, die so angeordnet ist, dass sie in Längsrichtung des Tastelements bzw. der Tasterverlängerung auf das Tastelement "blickt". Grundsätzlich ist bei zweidimensionalen Messungen (also z.B. bei Messungen in Bohrungen) eine einzige Kamera ausreichend, die auf die Längsrichtung der das Tastelement haltenden Tasterverlängerung wie Schaft ausgerichtet ist.

Es ist auch erfindungsgemäß möglich, auf dem als Lichtleitfaser ausgebildeten Schaft weitere beleuchtete Kugeln oder sonstige Zielmarken anzubringen, die Position dieser Zielmarken insbesondere photogrammetrisch zu erfassen und die Auslenkung des Tastelements entsprechend zu berechnen. Kugeln stellen dabei vergleichsweise ideale, eindeutige Zielmarken dar, die es auf der Faser ansonsten nicht gibt. Eine gute Lichteinkopplung in die Kugeln erreicht man durch Störung der Lichtleitereigenschaften des Schafts, indem man z. B. die durchbohrten volumenstreuenden Kugeln auf den Schaft, d. h. der Tasterverlängerung aufsteckt und mit diesem verklebt. Auch können die volumenstreuenden Kugeln seitlich am Schaft angeklebt sein, wobei auch eine Lichteinkopplung möglich ist, vorausgesetzt, der Schaft führt bis zu seiner Oberfläche Licht, weist also einen Mantel an der Klebestelle nicht auf. Eine besonders hohe Genauigkeit wird erreicht, wenn die Tastelementposition als Funktion der Faserlage und Faserkrümmung (Zonen der Faser in einem Abstand von dem Tastelement) experimentell erfasst (kalibriert) wird. Auch ist hier wieder die Anmessung von entlang der Faser aufgebrachten Zielmarken anstelle der Abmessung der Faser selbst möglich.

Weitere Einzelheiten, Vorteile und Merkmale der Erfindung ergeben sich nicht nur aus den Ansprüchen, den diesen zu entnehmenden Merkmalen - für sich und/oder in Kombination -, sondern auch aus der nachfolgenden Beschreibung von der Zeichnung zu entnehmenden bevorzugten Ausführungsbeispiel.

In der Zeichnung ist schematisch eine Anordnung zur Erfassung der Oberflächentopographie bzw. der Oberflächenstruktur bzw. der Geometrie von Gegenständen bzw.

Objekten dargestellt. Die Anordnung enthält ein Tastelement 10, insbesondere eine lichtdurchlässige Kugel. Das Tastelement 10 ist mit einem Schaft 12, einem Lichtleiter, in Form von Lichtleitfasern verbunden. Der Schaft 12 ist in einer steifen Hülle 14 oder Hülse mit einem ersten, nicht näher bezeichneten Abschnitt geführt. Die Hülse 14 fixiert die Lage dieses Abschnitts. Ein zweiter Abschnitt 16 des biegeelastischen Schafts 12 ragt aus der Hülse 14 heraus und trägt an seinem Ende das Tastelement 10. Durch die Länge des Abschnitts 16 wird die wirksame Biegelänge des Schafts 12 bestimmt. Dabei kann durch Verschiebung des Schafts innerhalb der Hülse 14 die Biegelänge gezielt verändert werden. Selbstverständlich kann die Länge des Abschnitts 16 z.B. mess-technisch oder gerätebedingt vorgegeben werden, so dass ein Verstellen nicht notwendig ist.

Die Hülse 14 ist an ihrem dem Abschnitt 16 abgewandten Ende in einem Halter 18 befestigt, der mit einem Gehäuse 20 verbunden ist. Im Gehäuse 20 befindet sich vor dem nicht dargestellten Ende des Schafts 18 eine Optik 22, mit der das von einer Lichtquelle 22 ausgesandte Licht in den Schaft 12 eingespeist wird. Mit dem Gehäuse 24 ist eine Einheit 26 verbunden, die ein nicht näher bezeichnetes optisches System zur Messung der Position des Tastelements 10 enthält. Zur Positionserfassung des Tastelements 10 kann eine Einrichtung verwendet werden, die an sich bekannt ist und auch zur Strukturvermessung eingesetzt wird. Die Position des Tastelements 10 kann mit einem Sensor, z. B. einem elektronischen Bildverarbeitungssystem wie elektronischer Kamera festgestellt werden. Auch kann die Position des Tastelements 10 bei dessen Berührung mit dem Messobjekt durch Auswertung einer Kontrastfunktion des Bildes mittels einer elektronischen Kamera erfasst werden. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, die Position des Tastelements 10 bei Berührung mit dem Messobjekt aus einer Größenänderung des Bildes wenigstens einer Zielmarke zu bestimmen, die am Schaft 12 angeordnet ist. Die Größenänderung ergibt sich aus dem strahlenoptischen Zusammenhang zwischen Objekt-Abstand und Vergrößerung.

Die Position des Tastelements 10 lässt sich auch aus der scheinbaren Größenänderung

der Zielmarke ermitteln, die aus dem Kontrastverlust durch Defokussierung entsteht. Dabei wird die Position bei Berührung des Tastelements und des Objekts im Vergleich zur optischen Achse 28 des Bildverarbeitungssystems bzw. der elektronischen Kamera oder alternativ mit einem Photogrammetriesystem bestimmt.

Bei der Berührung zwischen Tastelement 10 und Objekt wirkt zwischen beiden eine Kraft, die einen Einfluss auf die Messergebnisse hat. Um eine genaue Messung zu erreichen, wird diese Antastkraft den Gegebenheiten des Objekts z. B. der Oberflächenhärte, Oberflächenrauhigkeit usw. angepasst. Dazu wird die Antastkraft zuerst gemessen. Die Messung der Antastkraft geschieht durch Erfassung der Auslenkung bzw. Biegung des Abschnitts 16 des Schafts 12. Die Größe der Auslenkung wird durch den Unterschied zwischen der Position des Tastelements 10 in der Ruhelage, die in der Zeichnung dargestellt ist, und der Lage bei Berührung zwischen Tastelement und Objekt bestimmt. Dabei nutzt man den erfindungsgemäßen Gedanken, dass der Schaft 12 über eine definierte Länge nur biegsam ist, nämlich dem Abschnitt 16, der über der Hülse 14 vorsteht.

Die Antastkraft F wird dabei nach folgender Gleichung bestimmt:

$$F = \frac{3 \cdot E \cdot f \cdot I}{l^3}$$

mit l = Länge des Abschnitts 16, d. h. der freien Faser, f = Durchbiegung (Auslenkung des Antastelements 10 aus der Ruhelage), E = Elastizitätsmodul des Schafts 12 bzw. Abschnitts 16 und I = axiales Flächenmoment des Schafts 12 bzw. Abschnitts 16.

Die Ruhelage des Tastelements 10 wird mit dem optischen System der Einheit 26 gemessen. Der Abschnitt 16 und ein Teil 30 der steifen Hülle 14 verlaufen längs der optischen Achse 28. Die Hülle 14 ist abgewinkelt bzw. gebogen. Der andere, nicht

näher bezeichnete abgewinkelte Teil der Hülle 14 ist mit seinem Ende an der Hülse 18 befestigt.

Das Gehäuse 20 mit der Lichtquelle 24 und der Optik 22 ist mit der Einheit 26 auf einem gemeinsamen Träger 32 angeordnet, der nur schematisch dargestellt ist. Der Träger 32 ist wenigstens in den drei Richtungen des kartesischen Koordinatensystems motorisch verstellbar. Vorzugsweise ist der Träger in fünf Freiheitsgraden verstellbar.

Bei der Verstellung des Trägers 32 im Raum, d. h. bei der Änderung der Orientierung der optischen Achse 28 wird die Lage des Tastelements 10 in der Ruheposition, die dieser Lage der Achse im Raum entspricht, durch Berechnung ermittelt.

Berührt das Tastelement 10 eine Objektoberfläche, dann wird mit dem optischen System der Einheit 26 aus der Größe der Auslenkung des Tastelements 10 die Antastkraft nach obiger Gleichung bestimmt.

Da bis auf die Antastkraft und die Auslenkung alle Größen der Gleichung Konstante sind, ist die Antastkraft der Auslenkung proportional, wodurch sich die Antastkraft schnell und einfach bestimmen lässt. Die Auslenkung des Tastelements 10 wird nicht nur in Verbindung mit der räumlichen Stellung des Trägers 32 zur Messung der Oberflächentopologie sondern auch zur Messung der Antastkraft ausgenutzt.

Die Antastkraft kann auf einem Display angezeigt werden. Durch eine Änderung der Stellung des Trägers 32 mittels eines oder mehrerer motorischer Antriebe, die in der Zeichnung symbolisch durch einen einzigen Motor 34 dargestellt sind, kann die Anstellkraft auf gewünschte Werte eingestellt werden.

Die gemessene Antastkraft wird als Istwert der Regelgröße einem Vergleicher in einem Regelkreis zugeführt, dessen Sollwert mittels einer Eingabeeinheit 36 eingestellt wird. Bestandteil des Regelkreises ist ein Rechner 38, der den Istwert der Regelgröße aus der

berechneten Ruhelage des Tastelements 10 im Raum in Bezug auf die jeweilige Lage der optischen Achse im Raum und der gemessenen Auslenkung bestimmt und der an Hand des Sollwertes die Regelabweichung ermittelt. Der Rechner 38 gibt über eine Ansteuerschaltung 40 Stellsignale an den Motor 34 aus. Durch die Regelung wird die Antastkraft auf einem gleichbleibenden oder nahezu gleichbleibenden Wert gehalten. Dies hängt vom gewählten Regelalgorithmus ab. Auf diese Weise wird die Antastkraft an die Gegebenheiten des Messobjekts angepasst und während der Messung der Struktur beibehalten. Für die gewählte Höhe der Antastkraft ist die Oberflächentopologie und die Oberflächenhärte des Messobjekts bestimmend.

Das für die Bestimmung der Antastkraft verwendete Tastelement 10 ist das gleiche wie für die Messung der Oberflächentopographie.

Die steife Hülle 14 bzw. Hülse ist vorzugsweise aus Metall.

Die Antastkraft wird bei der Messung von Strukturen an Objekten, die geringe Materialhärten haben bzw. nachgiebige Oberflächeneigenschaften haben, auf geringe Werte eingestellt, wodurch der Einfluss der Antastkraft auf die Messgenauigkeit nur gering ist.

PatentansprücheVerfahren und Anordnung zur Messung von Strukturen eines Objekts

1. Verfahren zur Messung von Strukturen eines Objektes mittels eines einem Koordinatenmessgerät zugeordneten von einem biegeelastischen Schaft ausgehenden Tastelement, wobei das Tastelement mit dem Objekt in Berührung gebracht und sodann seine Position unmittelbar oder mittelbar über wenigstens eine dem Tastelement zugeordnete Zielmarke mit einem optischen Sensor bestimmt wird,
dadurch gekennzeichnet,
dass der Schaft mit Ausnahme einer freien, das Tastelement und/oder die Zielmarke umfassenden Biegelänge innerhalb einer starren oder im wesentlichen starren Führung verläuft und dass die nach der Berührung zwischen Tastelement und Objekt auftretende Antastkraft auf Auslenkung des Tastelementes und/oder der Zielmarke aus einer Ruhelage bestimmt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Antastkraft auf einen an die Gegebenheiten des Objektes angepaßten Wert durch Vorgeben der Biegelänge eingestellt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2,
dadurch gekennzeichnet,
dass der Schaft innerhalb der Führung verschiebbar angeordnet wird.

4. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Antastkraft des Tastelements nach folgender Gleichung bestimmt wird.

$$F = \frac{3 \cdot E \cdot f \cdot I}{l^3}$$

worin mit F die Antastkraft, mit E der Elastizitätsmodul des Schafts, mit l die freie wirksame Biegelänge des Schafts außerhalb der Führung, mit I das axiale Flächenmoment des Schafts und mit f die Auslenkung des Tastelements aus seiner Ruhelage bezeichnet sind.

5. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Antastkraft als Regelgröße in einem Regelkreis auf einen vorgebbaren, gleichbleibenden oder nahezu gleichbleibenden Wert eingestellt wird und dass die Halterung von wenigstens einem motorischen Antrieb als Stellglied bewegt wird.

6. Verfahren nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Auslenkung des Tastelements mittels eines optischen Sensors gemessen wird, der die Stellung des Tastelements in dessen Ruhelage und die Stellung des Tastelements bei Berührung mit der Oberfläche eines Objekts erfasst.

7. Verfahren nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Stellung des Tastelements und/oder der zumindest einen Zielmarke mittels reflektierender und/oder mittels reflektierender und/oder dieses bzw. dieser abschaltender und/oder von dem Tastelement abstrahlender Strahlung bestimmt wird.

8. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass die Ruhelage des Tastelements in einer vorgegebenen Position des optischen Sensors gemessen wird, dass die Ruhelagen des Tastelements in von diesen Positionen des optischen Sensors abweichenden Positionen aus der vorgegebenen Position und der Lageänderung des optischen Sensors bestimmt werden und dass die Lage des Tastelements bei Berührung mit dem Objekt mit dem optischen Sensor gemessen und die Messwerte für die Struktur des Objekts und die Bestimmung und Auslenkung der Antastkraft verarbeitet werden.
9. Anordnung zur Messung von Strukturen eines Objektes mittels eines einem Koordinatenmessgerät zugeordneten von einem biegeelastischen Schaft (16) ausgehenden Tastelement (10), das mit dem Objekt in Berührung bringbar und dessen Position sodann unmittelbar oder mittelbar über wenigstens eine dem Tastelement zugeordnete Zielmarke mit einem Sensor bestimmbar ist,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass der Schaft (12) mit Ausnahme einer freien das Tastelement (10) und/oder der Zielmarke aufweisenden Biegelänge (16) innerhalb einer starren oder im wesentlichen einer starren Führung (30) verläuft.
10. Anordnung nach Anspruch 9,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass ein Sensor zur Messng der Auslenkung des Tastelementes und/oder der Zielmarke aus einer Ruhelage vorgesehen ist, dass das Tastelement und der elastische Schaft zusammen mit der Führung (30) mit wenigstens einem motorischen Antrieb (34) relativ zur Oberfläche des zu messenden Objektes bewegbar sind und dass mit einer Auswerteeinheit aus der Größe der Auslenkung des Tastelementes und/oder der Zielmarke aus der Ruhelage die Antastkraft bestimmbar ist.

11. Anordnung nach zumindest Anspruch 10,
durch gekennzeichnet,
dass die Anordnung die Antastkraft aus dem Wert der Größe der Auslenkung
nach folgender Gleichung bestimmt wird:

$$F = \frac{3 \cdot E \cdot f \cdot I}{l^3}$$

worin mit F die Antastkraft, mit f die Größe der Auslenkung aus der Ruhelage,
mit l die Länge des elastischen Schafts (12) zwischen dem Tastelement (10) und
einer starren Hülse (30), mit E der Elastizitätsmodul des Schafts (12) und mit I
das axiale Flächenmoment des Schafts (12) bezeichnet sind.

12. Anordnung nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche,
durch gekennzeichnet,
dass ein optisches System zur Erfassung der Auslenkung des Tastelements (10)
oder der wenigstens einen Zielmarke aus der Ruhelage vorgesehen und zu-
mindest mit dem Tastelement (10) und dem Schaft (12) als Einheit bewegbar ist.

13. Anordnung nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche,
durch gekennzeichnet,
dass das optische System zum Erfassen der Auslenkung des Tastelements in
einem Regelkreis angeordnet ist, dessen Regelgröße die Antastkraft ist und der
als Stellglied wenigstens einen motorischen Antrieb für die Bewegung der das
Tastelement, den Schaft und den Sensor enthaltenden Einheit aufweist.

14. Anordnung nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche,
durch gekennzeichnet,
dass das Tastelement (10) mit dem Schaft (12) und dem optischen System von

einer in fünf Freiheitsgraden bewegbaren Halterung verstellbar ist.

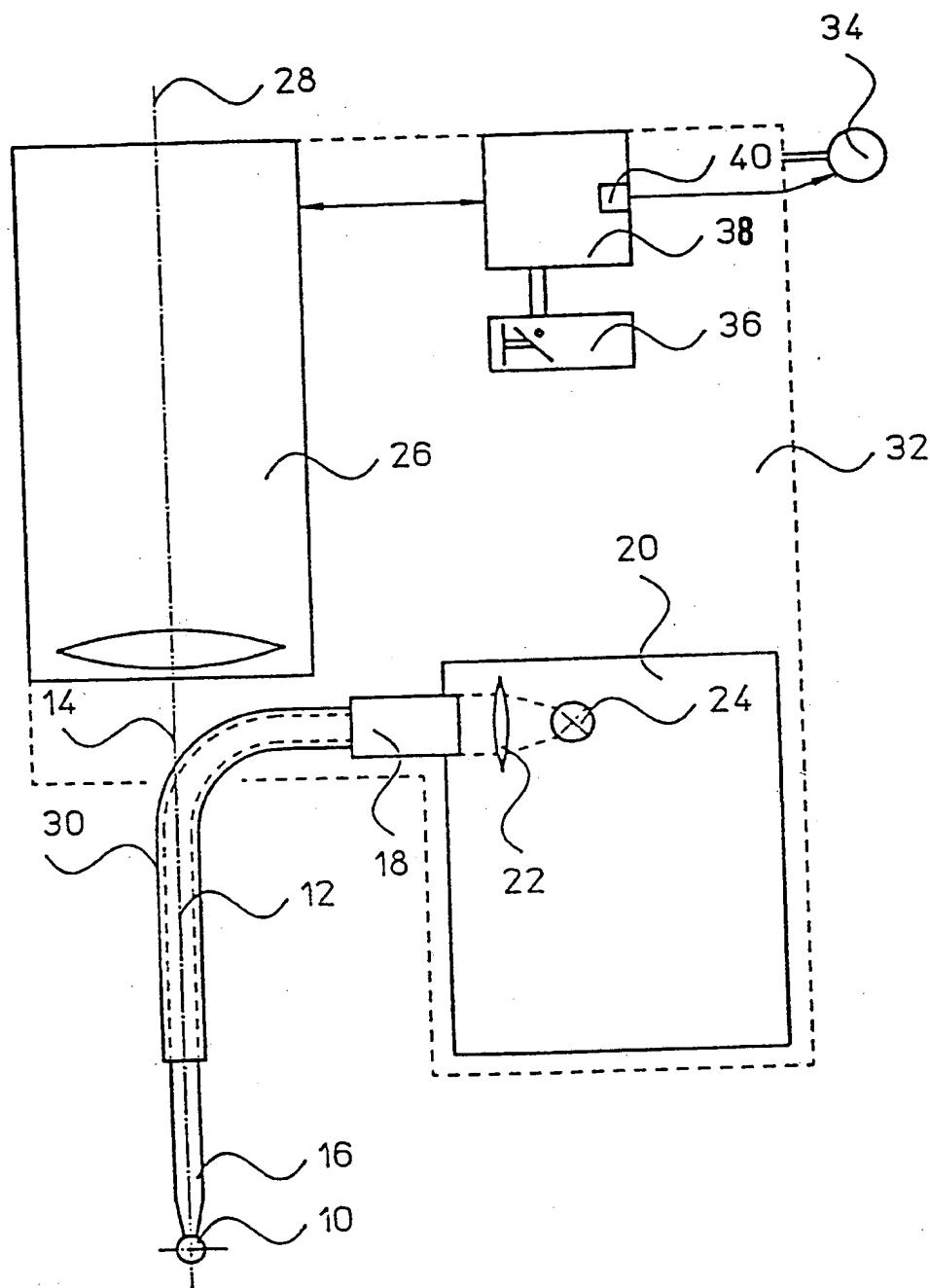
15. Anordnung nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass das Tastelement (10) und der Schaft (12) Lichtleiter sind und dass dem
Tastelement (10) über den Lichtleiter Licht zuführbar ist.
16. Anordnung nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass das optische System zur Bestimmung der Auslenkung des Tastelements
(10) eine elektronische Kamera oder ein Fokussystem ist.
17. Anordnung nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass das optische System zur Erfassung der Auslenkung des Tastelements (10)
aus der Ruhelage auch für die Messung der Struktur des Objekts vorgesehen ist.
18. Anordnung nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass ein Rechner für die Berechnung der Position des Tastelements in Bezug auf
die Lage des optischen Systems bei der Messung der Ruhelage des Tastelements
und bei Änderung der Lage des optischen Systems im Raum vorgesehen ist.
19. Anordnung nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass der Schaft (12) in einer starren Führung wie Hülse (14) geführt bzw.
aufgenommen ist und dass die wirksame Biegelänge des Schafts durch seinen
vorderen außerhalb der Führung verlaufenden das Tastelement (10) aufweisen-
den Abschnitt (16) bestimmt ist.

20. Anordnung nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass der Schaft (12) innerhalb der Führung (14) verschiebbar angeordnet ist.

GEÄNDERTE ANSPRÜCHE

[beim Internationalen Büro am 04. Oktober 1999 (04.10.99.) eingegangen;
neuer Anspruch 1 ersetzt ursprünglichen Anspruch 1; alle anderen Ansprüche
bleiben unverändert (1 Seite)]

1. Verfahren zur Messung von Strukturen eines Objektes mittels eines einem Koordinatenmessgerät zugeordneten von einem biegeelastischen Schaft ausgehenden Tastelement, wobei das Tastelement mit dem Objekt in Berührung gebracht und sodann seine Position unmittelbar oder mittelbar über wenigstens eine dem Tastelement zugeordnete Zielmarke mit einem optischen Sensor bestimmt wird, **d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t**,
dass der Schaft mit Ausnahme einer freien, das Tastelement und/oder die Zielmarke umfassenden Biegelänge innerhalb einer starren oder im wesentlichen starren Führung verläuft und dass die nach der Berührung zwischen Tastelement und Objekt auftretende Antastkraft aus Auslenkung des Tastelementes und/oder der Zielmarke aus einer Ruhelage mittels des optischen Sensors durch Messung der Position des Tastelements und/oder der Zielmarke bestimmt wird.



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/EP 99/02570

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 6 G01B11/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 6 G01B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	WO 97 03346 A (RENISHAW PLC) 30 January 1997 (1997-01-30)	1,5-8
A	page 3, line 9 - page 3, line 32; figure 2 page 6, line 33 - page 7, line 25; figure 4 ---	2,9,10, 12-18
A	US 5 144 150 A (KEIICHI YOSHIZUMI, KEISHI KUBO) 1 September 1992 (1992-09-01) See the whole document figures 1,4,5 -----	1,4-18

Further documents are listed in the continuation of box C.

Patent family members are listed in annex.

Special categories of cited documents:

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier document but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

5 August 1999

Date of mailing of the international search report

12/08/1999

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Visser, F

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/EP 99/02570

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)		Publication date
WO 9703346	A 30-01-1997	NONE		
US 5144150	A 01-09-1992	JP JP KR	2661314 B 3255907 A 9403918 B	08-10-1997 14-11-1991 09-05-1994

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

In internationales Aktenzeichen

PCT/EP 99/02570

A. KLASIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

IPK 6 G01B11/00

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 6 G01B

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	WO 97 03346 A (RENISHAW PLC) 30. Januar 1997 (1997-01-30)	1,5-8
A	Seite 3, Zeile 9 – Seite 3, Zeile 32; Abbildung 2 Seite 6, Zeile 33 – Seite 7, Zeile 25; Abbildung 4 ---	2,9,10, 12-18
A	US 5 144 150 A (KEIICHI YOSHIZUMI, KEISHI KUBO) 1. September 1992 (1992-09-01) siehe die gesamte Druckschrift; Abbildungen 1,4,5 ----	1,4-18

Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann nahelegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

5. August 1999

12/08/1999

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl.
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Visser, F.

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 99/02570

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
WO 9703346 A	30-01-1997	KEINE	
US 5144150 A	01-09-1992	JP 2661314 B	08-10-1997
		JP 3255907 A	14-11-1991
		KR 9403918 B	09-05-1994

ENGLISH TRANSLATION**Description**Method and arrangement for measuring structures of an object

5

The invention relates to a method and an arrangement for measuring structures of an object by means of a feeling element which is assigned to a coordinate measuring device and extends from a flexurally elastic shaft, the feeling element being brought into contact with the object and its position then determined with an optical sensor directly or indirectly by means of at least one target mark assigned to the feeling element.

15 An arrangement of the type described above is already known (DE 297 10 242 U1). In the case of this known arrangement, the surface topography of an article or object is measured with a photogrammetric system and the feeling element. The feeling element, for example a ball, is arranged on the end of an elastic shaft. Attached to the shaft may be target marks, the positions of which are in relation to a feeler reference system are sensed by the photogrammetric system. The position of the feeling element is determined for example from the positions of the target marks.

Also known is a measuring system for sensing the surface topography of articles with a measured-value transmitter, which comprises a feeling pin and a light source of a defined form on its end. The light source is passed along the contour to be recorded. In the case of this method, an optical receiver senses the respective position of the light source, forming a spot of light or point of light, in a three-dimensional Cartesian system of coordinates. A computer evaluates the measurement results. The light source, as an extension of the feeling pin, has for example the form

- 2 -

of a concentrically enclosed glass fiber (DE 40 02 043 C2).

Also known is a feeling system for the measurement of
5 small structures, which is based on a quartz crystal
oscillator which excites a glass fiber with a feeling
element. On contact with the surface of the workpiece,
the attenuation of the system is evaluated. Although
this technique does make small feeling forces possible,
10 it suffers from relatively great inaccuracy (measuring
error 5 µm).

Finally, it is known to determine the position of a
feeling element for measuring structures by means of a
15 microscope, the equipment requiring that the transmitted-
light method is used, so that only structures of through-
bores or other apertures can be measured.

The present invention is based on the problem of
20 developing a method and apparatus for measuring the
surface topography of objects with which any desired
structures and objects with different surface
hardnesses can be determined with a high level of
measuring accuracy.

25 In the case of a method for measuring structures of an
object by means of a feeling element which is assigned
to a coordinate measuring device and extends from a
flexurally elastic shaft, which feeling element is
30 brought into contact with the object and the position
of which is then determined with a sensor directly or
indirectly by means of at least one target mark
assigned to the feeling element, the problem is solved
according to the invention by the shaft running within
35 a rigid or substantially rigid guide with the exception
of a free bending length, comprising the feeling
element and/or the target mark, and by the feeling
force occurring after contact between the feeling

- 3 -

element and the object being determined from the deflection of the feeling element and/or the target mark from a rest position. In this case, the feeling force in particular is set to a value adapted to the
5 data pertaining to the object by predetermination of the bending length. This can take place by displacement of the shaft within the guide. The values of the feeling force obtained in this way can be taken into account in measurements of the structures of the
10 object then performed.

In the case of some objects, the feeling force has a major influence on the measurement results. With the method according to the invention, it is possible to
15 adapt the feeling force as a parameter of the measurement to the data pertaining to the object, such as the surface topography and the surface hardness.

In the case of a preferred embodiment, the feeling
20 force of the feeling element is determined on the basis of the following equation:

$$F = \frac{3 \cdot E \cdot f \cdot I}{l^3}$$

where F denotes the feeling force, E denotes the modulus of elasticity of the shaft, l denotes the
25 effective bending length of the shaft between a rigid guide and the feeling element, I denotes the axial area moment of the shaft and f denotes the deflection of the locking element from a rest position. The modulus of elasticity, the axial area moment or moment of inertia
30 and the length are predetermined by the structural or material properties of the apparatus and can be combined to form a constant. Consequently, the feeling force is proportional to the deflection and can be determined quickly and without complex and time-consuming computing operations.
35

- 4 -

If appropriate, the shaft may be displaced within the guide in order to change the effective bending length. Irrespective of this, the rigid way in which the shaft is held always ensures in a reproducible way that the
5 shaft has a defined bending length.

In the case of an expedient embodiment, the feeling force is set as a controlled variable in a control loop to a predeterminable, constant or virtually constant
10 value, the mount of at least one motor drive being movable as an actuating element. In the case of this embodiment, the feeling force can be kept at a predetermined value during the entire measurement of a structure. For measuring the surface topography in
15 three dimensions, it is often favorable if the mount with the elastic shaft extending from it can be moved by drives in five degrees of freedom. The mount is connected in particular to the setting mechanism for the optical system to form a unit which is adjustable
20 by motor in five degrees of freedom.

It is also advantageous if the deflection of the feeling element is measured by means of an optical sensor, which senses the difference between the
25 position of the feeling element in its rest position and the position of the feeling element on contact with the surface of the object. The sensor, which is the same one as for the measurement of the structure, is in this case expediently moved together with the mount.
30

The position of the feeling element and/or the at least one target mark is optically determined in particular by means of radiation that is reflecting and/or occluding by this or these and/or radiating from the
35 feeling element or the target mark. The extension of the feeler or the shaft is expediently formed as a light guide or comprises such a light guide, in order

- 5 -

to feed the required light via the latter to the feeling element or the target mark.

There is also the possibility that the feeling element
5 and/or the target mark is formed as a self-illuminating electronic element such as an LED or comprises such an element.

In particular, the invention is distinguished by an
10 arrangement for measuring structures of an object by means of a feeling element which is assigned to a coordinate measuring device and extends from a flexurally elastic shaft, which feeling element can be brought into contact with the object and the position
15 of which can then be determined with a sensor directly or indirectly by means of at least one target mark assigned to the feeling element, the arrangement being distinguished in that the shaft runs in a rigid or substantially rigid guide with the exception of a free
20 bending length, comprising the feeling element and/or the target mark. As a result, the feeling force is predetermined in a defined manner by the effective bending length, whereby the arrangement can be adapted to the data concerning surface properties of the object
25 to be measured.

In particular, the arrangement is distinguished in that a sensor for measuring the deflection of the feeling element and/or the target mark from a rest position is
30 provided, in that the shaft runs in a rigid or substantially rigid guide with the exception of a free bending length, comprising the feeling element and/or the target mark, in that the guide with the shaft can be moved in relation to the surface of the object with
35 at least one motor drive and in that the feeling force can be determined with an evaluation device from the deflection of the feeling element and/or the target mark from the rest position. With this apparatus, the

- 6 -

feeling force of the feeling element can be adapted to the data of the surface properties of the object. For example, the feeling force can be matched to the hardness properties of the surface in such a way that
5 as high a level of measuring accuracy as possible is achieved. In this case, there is the possibility that the shaft is arranged displaceably within the guide.

In particular, the arrangement determines the feeling
10 force from the measured value of the deflection of the feeling element on the basis of the following equation:

$$F = \underline{3 \cdot E \cdot f \cdot l}$$

¹

15 where F denotes the feeling force, f denotes the deflection, l denotes the length of the shaft in its effective bending length, E denotes the modulus of elasticity of the shaft and I denotes the axial area moment of the shaft. Since, apart from the deflection
20 f and the feeling force, all the variables are constant in this equation, the deflection can be calibrated in the unit of the feeling force in such a way that account is taken of the constants.

25 In the case of an expedient embodiment, an optical system for sensing the deflection of the feeling element or the target mark from a rest position is provided and can be moved as a unit at least with the feeling element and the shaft. With the system with
30 which in particular the surface topography is also determined, the rest position of the feeling element or the at least one target mark or a number of target marks can be determined when no contact takes place with an object or article. The corresponding
35 geometrical position of the feeling element or the at least one target mark can be stored and adapted

- 7 -

appropriately when there is a change in position of the system. When there is contact of the feeling element with an object surface, the difference between the rest position and the position on contact is sensed, for
5 example from the position of the feeling element and the assigned rest position. The optical system for sensing the deflection of the feeling element or the target mark is arranged in particular as an actual-value sensor in a control loop, the controlled variable
10 of which is the feeling force and which has as an actuating element at least one motor drive for the movement of the unit comprising the feeling element, the shaft and the sensor. The feeling element may be attached to the shaft by adhesive bonding, welding or
15 other suitable types of connection. The feeling element and/or the target mark may also be a portion of the feeling extension itself.

The shaft itself may be formed at the end as a feeler
20 or comprise such a feeler. In particular, the feeling element and/or the target mark may be connected exchangeably to the feeling extension like the shaft.

To be able to determine virtually any desired
25 structures, it is further provided that the feeling element with the shaft and the optical system can be adjusted by a mount which is adjustable in five degrees of freedom. The mount itself may in turn form a unit with the sensor or be connected to the sensor.
30 Preferably, the feeling element and the shaft are a light guide, it being possible for light to be fed to the feeling element via the light guide. This has the effect of illuminating the feeling element, which is sensed by the optical system as a spot of light or
35 point of light. The feeling element and/or the at least one target mark may also be formed in a light-reflecting manner. There is, however, also the possibility of forming the feeling element and/or the

- 8 -

target mark as a self-illuminating element such as an LED.

5 The optical system which is used for determining the deflection of the feeling element from its rest position and for structure measurement is, in particular, an electronic camera. The measuring of the deflection takes place in particular also with a focusing system, as is already known in optical

10 coordinate measuring technology for focusing on the surface of the workpiece. In this case, the contrast function of the image is evaluated in the electronic camera.

15 For determining the structure of the objects, direct measurement of the position of the feeling element is used. In principle, many different physical principles come into consideration for this direct measurement. Since the measuring of the deflection of the feeling

20 element must be performed spatially with great accuracy in a large measuring range, for example to permit continuous scanning operations and to record a great excursion when feeling an object (for example for safety reasons, but also to reduce the effort involved

25 for accurate positioning), a photogrammetric method may also be used. Two camera systems with axes inclined in relation to each other could be used. The evaluation techniques known from industrial photogrammetry can substantially be used.

30 With two "viewing" cameras, inclined for example in relation to the longitudinal direction of the feeling element or the ends of a feeler extension such as a shaft facing said feeling element, it is possible to

35 carry out all measuring tasks in which the feeling element does not "disappear" behind undercuts. The use of a redundant number of cameras (for example three) also permits measuring to be carried out on objects

- 9 -

with steep contours. When measuring in small bores, a camera which is arranged in such a way that it "looks" at the feeling element in the longitudinal direction of the feeling element or of the feeler extension can be
5 used. In principle, in the case of two-dimensional measurements (that is for example in the case of measurements in bores), a single camera is adequate, aligned with the longitudinal direction of the feeler extension such as a shaft holding the feeling element.

10

It is also possible according to the invention to attach on the shaft formed as a light-conducting fiber further illuminated balls or other target marks, to sense the position of these target marks, in particular
15 photogrammetrically, and to calculate the deflection of the feeling element correspondingly. Balls in this case represent comparatively ideal, unambiguous target marks, not otherwise present on the fiber. Good coupling of light into the balls is achieved by
20 disturbing the light guide properties of the shaft, in that for example the drilled-through, bulk-scattering balls are fitted onto the shaft, i.e. the feeler extension, and adhesively bonded to it. The bulk-scattering balls may also be adhesively attached
25 laterally to the shaft, coupling in of light also being possible in this case, provided that the shaft guides light to its surface, that is to say does not have a jacket at the adhesive joint. A particularly high level of accuracy is achieved if the position of the
30 feeling element is experimentally registered (calibrated) as a function of the fiber position and fiber curvature (zones of the fiber at some distance from the feeling element). Here, too, the measuring of target marks applied along the fiber is again possible
35 instead of measuring the fiber itself.

Further details, advantages and features of the invention emerge not only from the claims, the features

- 10 -

to be taken from the latter - in themselves and/or in combination -, but also from the description which follows of the preferred exemplary embodiment to be taken from the drawing.

5

Schematically represented in the drawing is an arrangement for sensing the surface topography or the surface structure or the geometry of articles or objects. The arrangement comprises a feeling element 10, in particular a light-transmitting ball. The feeling element 10 is connected to a shaft 12, a light guide, in the form of light-guiding fibers. The shaft 12 is guided in a rigid case 14 or sleeve with a first portion, not designated any more specifically. The 10 sleeve 14 fixes the position of this portion. A second portion 16 of the flexurally elastic shaft 12 protrudes out of the sleeve 14 and bears the feeling element 10 at its end. The effective bending length of the shaft 12 is determined by the length of the portion 16. In 15 this case, the bending length can be changed as specifically intended by displacement of the shaft within the sleeve 14. It goes without saying that the length of the portion 16 may be predetermined, for example in terms of the measuring technology or by the 20 equipment, so that an adjustment is not necessary. The 25

The sleeve 14 is fastened at its end remote from the portion 16 in a holder 18, which is connected to a housing 20. Located in the housing 20 in front of the 30 end (not represented) of the shaft 18 is a lens 22, with which the light emitted from a light source 22 is fed into the shaft 12. Connected to the housing 24 is a unit 26, which comprises an optical system (not designated any more specifically) for measuring the 35 position of the feeling element 10. For sensing the position of the feeling element 10, a device which is known per se and also used for measuring the structure may be used. The position of the feeling element 10

- 11 -

may be established with a sensor, for example an electronic image processing system such as an electronic camera. The position of the feeling element 10 when it makes contact with the object being measured
5 can also be sensed by evaluation of a contrast function of the image by means of an electronic camera. A further possibility is that of determining the position of the feeling element 10 on contact with the object being measured from a change in size of the image of at least one target mark which is arranged on the shaft
10 12. The change in size results from the relationship in terms of geometrical optics between the object distance and the magnification.

15 The position of the feeling element 10 can also be determined from the apparent change in size of the target mark, which results from the loss of contrast caused by defocusing. In this case, the position when the feeling element makes contact with the object is
20 determined in comparison with the optical axis 28 of the image processing system or the electronic camera or alternatively with a photogrammetric system.

When there is contact between the feeling element 10 and the object, a force which has influence on the measurement results acts between them. In order to achieve an accurate measurement, this feeling force is adapted to the data pertaining to the object, for example the surface hardness, the surface roughness,
25 etc. For this purpose, the feeling force is measured first. The measuring of the feeling force takes place by sensing the deflection or bending of the portion 16 of the shaft 12. The size of the deflection is determined by the difference between the position of
30 the feeling element 10 in the rest position, which is represented in the drawing, and the position when there is contact between the feeling element and the object. In this case, use is made of the idea according to the
35

- 12 -

invention that the shaft 12 can be bent only over a defined length, that is to say the portion 16 which protrudes beyond the sleeve 14.

5 The feeling force F is in this case determined on the basis of the following equation:

$$F = \frac{3 \cdot E \cdot f \cdot I}{l^3}$$

10 where l = length of the portion 16, i.e. the free fiber, f = bending (deflection of the feeling element 10 from the rest position), E = modulus of elasticity of the shaft 12 or portion 16 and I = axial area moment of the shaft 12 or portion 16.

15 The rest position of the feeling element 10 is measured with the optical system of the unit 26. The portion 16 and a part 30 of the rigid case 14 run along the optical axis 28. The case 14 is angled away or bent.
20 The other angled-away part (not designated any more specifically) of the case 14 is fastened with its end to the sleeve 18.

25 The housing 20 with the light source 24 and the lens 22 is arranged with the unit 26 on a common support 32, which is only schematically represented. The support 32 is adjustable by motor at least in the three directions of the Cartesian system of coordinates. The support is preferably adjustable in five degrees of freedom.

30 When the support 32 is spatially adjusted, i.e. the orientation of the optical axis 28 is changed, the position of the feeling element 10 in the rest position, which corresponds to this position of the axis in space, is determined by calculation.

- 13 -

When the feeling element 10 makes contact with the surface of an object, the feeling force is determined with the optical system of the unit 26 on the basis of the above equation from the size of the deflection of
5 the feeling element 10.

Since all the variables of the equation are constants apart from the feeling force and the deflection, the feeling force is proportional to the deflection, as a
10 result of which the feeling force can be determined quickly and simply. The deflection of the feeling element 10 is used not only in connection with the spatial position of the support 32 for measuring the surface topology but also for measuring the feeling
15 force.

The feeling force may be indicated on a display. The contacting force can be set to desired values by changing the position of the support 32 by means of one
20 or more motor drives, which are symbolically represented in the drawing by a single motor 34.

The measured feeling force is fed as an actual value of the controlled variable to a comparator in a control
25 loop, the setpoint value of which is set by means of an input unit 36. A component part of the control loop is a computer 38, which determines the actual value of the controlled variable from the calculated rest position of the feeling element 10 in space with reference to
30 the respective position of the optical axis in space and the measured deflection, and which determines the system deviation on the basis of the setpoint value. The computer 38 outputs actuating signals to the motor 34 via an activating circuit 40. The feeling force is
35 kept at a constant or virtually constant value by the control system. This depends on the chosen control algorithm. In this way, the feeling force is adapted to the data pertaining to the object being measured and

- 14 -

is maintained during the measuring of the structure. The surface topography and the surface hardness of the object being measured are determinative for the chosen level of the feeling force.

5

The feeling element 10 used for the determination of the feeling force is the same one as for the measurement of the surface topography.

10 The rigid case 14 or sleeve is preferably made of metal.

15 The feeling force is set to low values in the case of measuring structures on objects which have low material hardnesses or compliant surface properties, whereby the influence of the feeling force on the measuring accuracy is only small.

Patent claimsMethod and arrangement for measuring structures of an object

5

1. A method for measuring structures of an object by means of a feeling element which is assigned to a coordinate measuring device and extends from a flexurally elastic shaft, the feeling element being brought into contact with the object and its position then determined with an optical sensor directly or indirectly by means of at least one target mark assigned to the feeling element, characterized in that the shaft runs within a rigid or substantially rigid guide with the exception of a free bending length, comprising the feeling element and/or the target mark and in that the feeling force occurring after contact between the feeling element and the object is determined on the deflection of the feeling element and/or the target mark from a rest position.
2. The method as claimed in claim 1, characterized in that the feeling force is set to a value adapted to the data pertaining to the object by predetermining the bending length.
3. The method as claimed in claim 1 or 2, characterized in that the shaft is arranged displaceably within the guide.
4. The method as claimed in at least one of the preceding claims, characterized in that the feeling force of the feeling element is determined on the basis of the following equation:

35

- 16 -

$$F = \frac{3}{l^3} \cdot E \cdot f \cdot I$$

1³

where F denotes the feeling force, E denotes the modulus of elasticity of the shaft, l denotes the free effective bending length of the shaft outside the guide, I denotes the axial area moment of the shaft and f denotes the deflection of the feeling element from its rest position.

10 5. The method as claimed in at least one of the preceding claims, characterized in that the feeling force is set as a controlled variable in a control loop to a predetermined, constant or virtually constant value and in that the mount of at least 15 one motor drive is moved as an actuating element.

20 6. The method as claimed in at least one of the preceding claims, characterized in that the deflection of the feeling element is measured by means of an optical sensor, which senses the position of the feeling element in its position of rest and the position of the feeling element on contact with the surface of an object.

25 7. The method as claimed in at least one of the preceding claims, characterized in that the position of the feeling element and/or the at least one target mark is determined by means of radiation that is reflecting and/or reflecting and/or 30 disconnecting this or these and/or radiating from the feeling element.

35 8. The method as claimed in at least one of the preceding claims, characterized in that the rest position of the feeling element is measured in a predetermined position of the optical sensor, in

- 17 -

that the rest positions of the feeling element are determined in positions deviating from these positions of the optical sensor from the predetermined position and the change in position 5 of the optical sensor and in that the position of the feeling element on contact with the object is measured with the optical sensor and the measured values for the structure of the object and the determination and deflection of the feeling force 10 are processed.

9. An arrangement for measuring structures of an object by means of a feeling element (10) which is assigned to a coordinate measuring device and 15 extends from a flexurally elastic shaft (16), which feeling element can be brought into contact with the object and the position of which can then be determined with a sensor directly or indirectly by means of at least one target mark assigned to the 20 feeling element, characterized in that the shaft runs within a rigid or substantially a rigid guide (30) with the exception of a free bending length (16), comprising the feeling element (10) and/or the target mark.

25
10. The arrangement as claimed in claim 9, characterized in that a sensor for measuring the deflection of the feeling element and/or the target mark from a rest position is provided, in that the 30 feeling element and the elastic shaft together with the guide (30) can be moved in relation to the surface of the object to be measured with at least one motor drive (34) and in that the feeling force can be determined with an evaluation device from 35 the size of the deflection of the feeling element and/or the target mark from the rest position.

- 18 -

11. The arrangement as claimed in at least claim 10, characterized in that the arrangement is determined the feeling force from the value of the size of the deflection on the basis of the following equation:

5

$$F = \frac{3 \cdot E \cdot f \cdot l}{l^3}$$

10 where F denotes the feeling force, f denotes the size of the deflection from the rest position, l denotes the length of the elastic shaft (12) between the feeling element (10) and a rigid sleeve (30), E denotes the modulus of elasticity of the shaft (12) and I denotes the axial area moment of the shaft (12).

15

12. The arrangement as claimed in at least one of the preceding claims, characterized in that an optical system for sensing the deflection of the feeling element (10) or the least one target mark from the rest position is provided and can be moved as a unit at least with the feeling element (10) and the shaft (12).

25

13. The arrangement as claimed in at least one of the preceding claims, characterized in that the optical system for sensing the deflection of the feeling element is arranged in a control loop, the controlled variable of which is the feeling force and which has as an actuating element at least one motor drive for the movement of the unit comprising the feeling element, the shaft and the sensor.

30

14. The arrangement as claimed in at least one of the preceding claims, characterized in that the feeling element (10) with the shaft (12) and the optical

- 19 -

system can be adjusted by a mount which is adjustable in five degrees of freedom.

15. The arrangement as claimed in at least one of the preceding claims, characterized in that the feeling element (10) and the shaft (12) are light guides and in that light can be fed to the feeling element (10) via the light guide.
- 10 16. The arrangement as claimed in at least one of the preceding claims, characterized in that the optical system for determining the deflection of the feeling element (10) is an electronic camera or a focusing system.
- 15 17. The arrangement as claimed in at least one of the preceding claims, characterized in that the optical system for sensing the deflection of the feeling element (10) from the rest position is also intended for the measurement of the structure of the object.
- 20 18. The arrangement as claimed in at least one of the preceding claims, characterized in that a computer is provided for the calculation of the position of the feeling element with reference to the position of the optical system when measuring the rest position of the feeling element and when changing the position of the optical system in space.
- 25 30 19. The arrangement as claimed in at least one of the preceding claims, characterized in that the shaft (12) is guided or held in a rigid guide such as a sleeve (14) and in that the effective bending length of the shaft is determined by its front portion (16), which runs outside the guide and has the feeling element (10).

- 20 -

20. The arrangement as claimed in at least one of the preceding claims, characterized in that the shaft (12) is arranged displaceably within the guide (14).

- 21 -

AMENDED CLAIMS

[received at the International Bureau on Oct 4, 1999
(10.04.99); new claim 1 replaces original claim 1; all
other claims remain unchanged (1 page)]

5

1. A method for measuring structures of an object by means of a feeling element which is assigned to a coordinate measuring device and extends from a flexurally elastic shaft, the feeling element being brought into contact with the object and its position then determined with an optical sensor directly or indirectly by means of at least one target mark assigned to the feeling element, characterized in that the shaft runs within a rigid or substantially rigid guide with the exception of a free bending length, comprising the feeling element and/or the target mark and in that the feeling force occurring after contact between the feeling element and the object is determined from the deflection of the feeling element and/or the target mark from a rest position by means of the optical sensor by measuring the position of the feeling element and/or the target mark.